

Относительная погрешность всей измерительной системы составляет $\pm 5\%$.

Исходя из полученных результатов значение эксплуатационного коэффициента теплопроводности теплоизоляционной краски *Теплометт Фасад*, найденное по уравнению теплопроводности (1), превышает более чем в 3,5 раза заявленную производителем величину теплопроводности материала 0,0012 Вт/(м·К) [8]. Причинами столь значительных расхождений результатов натуральных измерений и номинального значения коэффициента теплопроводности жидкого утеплителя могут быть умышленно заниженное производителем значение теплопроводности. Однако такое заявление должно иметь более глубокое научное обоснование.

Разработанная методика может применяться в строительстве и энергетике для исследования в натуральных условиях теплопроводных качеств сверхтонких жидких теплоизоляционных покрытий.

Список литературы:

1. Бадьин Г.М. Строительство и реконструкция малоэтажного энергоэффективного дома. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 432 с.
2. Павлов М.В., Карпов Д.Ф., Юрчик М.С., Смирнова В.Ю., Тихомиров С.Н. Результаты применения жидкой тепловой изоляции на участке магистрального трубопровода системы централизованного теплоснабжения // Вестник МГСУ. – 2013. – № 10. – С. 147–155.
3. Жуков А.Н., Перехоженцев А.Г., Власов В.А. Применение жидкого керамического утеплителя для улучшения теплофизических параметров участков существующих ограждающих конструкций // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. – 2011. – № 21. – С. 44–46.
4. Жуков А.Н., Перехоженцев А.Г. Исследование возможности применения жидких керамических теплоизоляций для повышения сопротивления теплопередаче совмещенных кровельных покрытий // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. – 2012. – № 27. – С. 5–8.
5. Бирюзова Е.А. Повышение энергоэффективности тепловых сетей за счет применения современных теплоизоляционных материалов // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 1. – С. 62–66.
6. Рыженков В.А., Прищепов А.Ф., Логинова Н.А., Кондратьев А.П. Определение коэффициента теплопроводности тонкопленочного теплоизоляционного покрытия при различных диаметрах газонаполненных микросфер // Надежность и безопасность энергетики. – 2010. – № 9. – С. 60–64.
7. Манешев И.О., Правник Ю.И., Садыков Р.А., Сафин И.А., Еремин С.А. Экспериментальное определение коэффициентов теплопроводности и эффективности сверхтонких теплоизоляционных покрытий // Известия КазГАСУ. – 2013. – № 1(23). – С. 135–142.
8. <http://teplo-effect.ru>
9. Сеницын А.А., Карпов Д.Ф., Павлов М.В. Теория и практика теплообмена. – Вологда: ВоГТУ, 2013. – 71 с.
10. Сеницын А.А., Карпов Д.Ф., Павлов М.В. Основы тепловизионной диагностики теплопотребляющих объектов строительства. – Вологда: ВоГТУ, 2013. – 156 с.
11. Сеницын А.А., Карпов Д.Ф., Павлов М.В., Калягин Ю.А., Мнушкин Н.В. Исследование теплопроводности и температуропроводности твердого тела при стационарном и нестационарном тепловых режимах. – Вологда: ВоГУ, 2014. – 176 с.

Тепловые потери в тепловых сетях в условиях затопления

Кривицкая О.Н., Половников В.Ю.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Высокий уровень тепловых потерь при транспортировке теплоносителя и отсутствие точной методики их определения [1, 2, 3] привели к возникновению проблемы достоверной и качественной оценки масштабов теплопотерь. Особый интерес вызывает расчет теплопотерь в трубопроводах, работающих в условиях затопления. Предложенная в [1] методика их оценки представляется довольно сложной.

В данной статье рассматривается методика инженерной оценки масштабов тепловых потерь в магистральных трубопроводах, работающих в условиях затопления.

Для вычисления линейных теплопотерь q_L используем простое аналитическое выражение [4]:

$$q_L = \frac{\tau - t_0}{R_u - R_n}$$

где τ — средняя температура теплоносителя; t_0 — средняя температура среды, окружающей трубопровод; R_u и R_n — термические сопротивления слоя тепловой изоляции и поверхности теплотрубопровода.

Термические сопротивления определяются из известных соотношений:

$$R_u = \frac{1}{2\pi\lambda_u} \ln(d_2 / d_1)$$

$$R_n = \frac{1}{\pi\alpha d_2}$$

где d_1 и d_2 — наружный и внутренний диаметры изоляции; α — коэффициент теплоотдачи; λ_u — теплопроводность изоляции.

Как отмечалось в [2], главный фактор интенсификации потерь тепловой энергии при затоплении теплотрубопроводов — резкое повышение теплопроводности изоляции λ_u при насыщении ее влагой до значения λ_v . Учтем этот фактор с помощью эффективного коэффициента теплопроводности [5]:

$$\lambda_{эф} = \lambda_u \varphi_u + \lambda_v \varphi_v$$

где φ — объемная доля компоненты.

Проведем оценку теплопотерь трубопровода диаметром условного прохода 600 мм с тепловой изоляцией из стеклянной ваты толщиной 70 мм, работающего в условиях затопления, которое может быть полным или частичным. Как показано в [6], при анализе условий частичного погружения трубопровода в воду не возникает дополнительных проблем с оценкой теплопотерь из-за перетекания теплоты по угловой координате. Несмотря на кратную интенсификацию потерь тепловой энергии с увлажненной поверхности, перепад температур по окружной координате относительно невелик (существенно ниже аналогичного перепада по радиальной координате). Поэтому расчет потерь при частичном затоплении может проводиться с использованием одномерных моделей [6] с учетом площади поверхности изоляции, покрытой водой.

Примем среднюю температуру окружающей среды в канале $t_0 = 296,3$ К (в соответствии с [4]), а температуру теплоносителя $\tau = 373$ К. Теплопроводности изоляции и воды имеют следующие значения:

$\lambda_u = 0,059$ Вт/(м·К), $\lambda_v = 0,605$ Вт/(м·К). Максимально возможная объемная доля влаги, обусловленная пористостью стеклянной ваты [7], имеют значение $\varphi_v = 0,905$.

Следует отметить [3], что все теплоизоляционные материалы обладают определенной сопротивляемостью влагопоглощению даже в условиях высоких перепадов давления. В реальности перепады давления по толщине слоя изоляции не превышают 10-15 Па. Поэтому процесс распространения влаги даже по структуре стеклянной ваты толщиной 70 мм происходит в течение некоторого промежутка времени. Его продолжительность определяется в основном проницаемостью теплоизоляции (другие факторы менее значимы). В этом случае процесс влагопоглощения может продолжаться несколько часов или даже десятки часов (для различных типов изоляции). Но расчет процесса проникновения влаги в пористую структуру теплоизоляционного материала весьма сложен. Поэтому в данной статье анализируется вариант полного насыщения влагой изоляции трубопровода, т. е. не рассматривается переходный период проникновения воды в поры теплоизоляционного материала. Учитывая, что на практике продолжительность этого периода, как правило, много меньше времени пребывания трубопровода в затопленном состоянии, можно с достоверной для практики точностью пренебречь переходным процессом и считать, что влага мгновенно заполнила все поры теплоизоляционного материала.

В реальных условиях затопление каналов теплотрасс водой может быть вызвано различными причинами. Возможны варианты движения внешней среды (воды) в канале или отсутствия такого движения. Но в любом случае интенсивность отвода теплоты с внешнего контура трубопровода можно достаточно достоверно оценить с помощью соответствующих эмпирических зависимостей, связывающих безразмерный коэффициент теплоотдачи с критериями вынужденной или естественной конвекции для рассматриваемого режима течения.

Средние коэффициенты теплоотдачи α можно определить по критериальным уравнениям [8]:

в режимах естественной конвекции

$$10^4 < Gr \cdot Pr < 10^9, Nu = 0,47(Gr \cdot Pr)^{1/4};$$

$$Gr \cdot Pr > 10^9, Nu = 0,1(Gr \cdot Pr)^{1/3};$$

в режимах вынужденной конвекции

$$5 \cdot 10^3 < Re < 5 \cdot 10^4, Nu = 0,148 Re^{0,633};$$

$$5 \cdot 10^4 < Re < 5 \cdot 10^5, Nu = 0,43 + 0,0208 Re^{0,814} Pr^{0,31};$$

где Nu, Gr, Pr, Re — числа Нуссельта, Грасгофа, Прандтля и Рейнольдса.

Оценки показывают [3], что термическое сопротивление слоя изоляции значительно больше термического сопротивления поверхности теплотрубопровода ($R_n \ll R_{пн}$) в условиях свободной конвекции и в условиях вынужденной конвекции при относительно малых скоростях движения (до 1 м/с) окружающей трубопровод среды. Поэтому термическим сопротивлением R_n можно пренебречь, а это в свою очередь приводит к упрощению выражения (1), следовательно снимается необходимость определения коэффициента теплоотдачи α , входящего в состав выражения для расчета термического сопротивления поверхности теплотрубопровода $R_{пн}$. Выражение (1) примет следующий вид:

$$q_L = \frac{\tau - t_0}{\frac{1}{2\pi\lambda_{эф}} \ln(d_2/d_1)}$$

В (табл. 1) приведены результаты расчетов [3] по рассмотренной методике, нормативные значения линейных тепловых потерь согласно СНиП 2.04.14-88 [9], а также данные численного анализа, полученные при использовании математической модели [2] с применением граничных условий третьего рода. Они свидетельствуют о достаточной для инженерных расчетов точности получаемых результатов (отклонение от численного расчета – менее 4%). Следовательно, можно сделать вывод [3] о применимости предлагаемой методики для оценки теплотерь в теплотрубопроводах, работающих в условиях затопления.

Таблица 1 – Результаты расчетов [2]

Вариант расчета	q_L , Вт/м	Отклонение от СНиП, %	Отклонение от численного расчета, %
СНиП 2.04.14-88 [9]	122,0	–	90,5
Численный расчет	1280,0	90,5	–
Аналитический расчет	1328,4	90,8	3,3

Возвращаясь к анализу погрешности, вносимой в результаты расчетов q_L неучетом переходного режима заполнения влагой пористой структуры изоляции, в [3] отмечено, что осушение пор также не происходит мгновенно. Даже после откачивания воды из каналов теплотрасс изоляция осушится в течение некоторого времени. Поэтому погрешность второго переходного периода (из состояния насыщенной влагой изоляции в нормальное) скорее всего полностью или в значительной степени компенсирует погрешность периода увлажнения изоляции до предельно возможного насыщения.

Оценим материальный ущерб Y , руб., вызванный затоплением канала теплосети для теплотрубопровода длиной $L = 200$ м на срок $T = 1$ сут. Расчет проводится с использованием следующего выражения:

$$Y = C \cdot Q,$$

где $C = 1212,41$ руб/Гкал – типичный тариф на тепловую энергию для населения городов Российской Федерации в 2014 г.

Тепловые потери Q , Гкал, определяются из выражения:

$$Q = (q_L - q_L^{норм}) T \cdot L \cdot 4,187 \cdot 10^{-9},$$

где $q_L^{норм} = 122$ Вт/м – нормативное значение линейных теплотерь [9] теплотрубопровода диаметром условного прохода 600 мм; 4,187 – коэффициент пропорциональности (1 кал = 4,187 Дж).

Отсюда

$$Y = 1212,41(1328,4 - 122) \cdot 86400 \cdot 200 \cdot 4,187 \cdot 10^{-9} = 105824,82 \text{ руб.}$$

Таким образом, материальный ущерб за 1 сут. затопления теплотрубопровода составит 106 тыс.руб., за 10 дней – 1060 тыс.руб., а за 1 мес. – более 3 млн.руб.

На основании вышеуказанного, можно утверждать, что защита каналов теплотрубопроводов от затопления водой является, возможно, одной из наиболее эффективных мер снижения потерь тепловой энергии при ее доставке потребителю.

Список литературы:

1. Шишкин А. В. Определение потерь тепла в сетях централизованного теплоснабжения // Теплоэнергетика. – 2003. – № 9. – С. 68 – 74.
2. Кузнецов Г. В., Половников В. Ю. Тепловые потери магистральных трубопроводов в условиях частичного затопления. – В кн.: Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и тепловые процессы) СЭТТ-2005 (Гр. конф.). М.: Изд-во ВИМ, 2005, т. 1.
3. Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Оценка масштабов тепловых потерь в магистральных теплотрубопроводах в условиях затопления // Промышленная энергетика. – 2006. – №8. – С.32 – 34.
4. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. – М.: Изд-во МЭИ, 1999.
5. Чудновский А.Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. – М.: Физматгиз, 1962.
6. Половников В.Ю. Моделирование тепловых потерь в системах магистрального теплоснабжения в условиях затопления трубопровода. – В кн.: Энергетика: экология, надежность, безопасность (Материалы 11 – й Всеросс. науч. – техн. конф) – Томск: Изд – во ТПУ, 2005.
7. Васильев Л.Л., Танаева С.А. Теплофизические свойства пористых материалов. – Минск: Наука и техника, 1971.
8. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров. – М.: Атомиздат, 1979.
9. СНиП 2.04.14-88. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – М.: ЦИТС Госстроя СССР, 1988.

Энергохолодильный комплекс: хранение в регулируемой атмосфере

Кулагина О.В.

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия

Для длительного хранения овощей и фруктов кроме системы холодоснабжения применяется специальное технологическое оборудование, позволяющее значительно улучшить качество плодов, их твердость, окраску, свежесть, кислотность, а также снизить усушку, значительно продлить срок хранения. Период хранения может быть увеличен путем снижения интенсивности дыхания. Для этой цели продукция обычно охлаждается. Однако это не всегда достаточно эффективно. Охлаждение должно сопровождаться дополнительными методами, одним из которых является снижение уровня кислорода в камере и увеличение содержания CO₂.

Уменьшение присутствия кислорода в камере оказывает тормозящий эффект на процесс окислации плода, однако до определенного предела, ниже которого анаэробное дыхание возобновляется. Таким образом, важно поддерживать содержание кислорода в камере как можно ближе к минимальному уровню, индивидуальному для каждого вида продукции. [1]

Регулируемая атмосфера (РА) (Controlled Atmosphere - CA) или регулируемая газовая среда (РГС) - это искусственно созданная атмосфера, где концентрация газов отличается от природной (кислород: 21%, азот: 78%, углекислый газ: 0,03% и т.д.). Вид технологии и состав регулируемой атмосферы (газовой среды) выбирается в зависимости от вида овоща или фрукта, от поставленных задач хранения, температурного режима, относительной влажности, и других факторов.

Технология регулируемой атмосферы - это одна из наиболее прогрессивных, современных технологий хранения овощей и фруктов.

Газовые смеси применяют различных видов, но во всех случаях в их основе - азот, содержание которого в составе смеси составляет от 79 до 97 %. В практике хранения плодов в РГС используются газовые смеси с различным содержанием кислорода, углекислого газа и азота, но в основном смеси двух видов: нормальные и субнормальные (рисунок 1) [1].

В нормальных газовых смесях суммарное содержание кислорода и углекислого газа равняется суммарному количеству кислорода и углекислого газа в воздухе (около 21 %).